



TREINATEC BH CURSOS

Módulo 10

Fluídos Refrigerantes e Reoperação/Carga de Gás

Sumário

1. INTRODUÇÃO	3
2. CLASSIFICAÇÃO DOS FLUIDOS REFRIGERANTES	4
3. IMPACTOS AMBIENTAIS	6
4. VALORES DE ODP E GWP	9
5. REFRIGERANTES ALTERNATIVOS	9
6. SELEÇÃO DOS FLUIDOS REFRIGERANTES	13
7. REOPERAÇÃO DA UNIDADE SELADA	17
8. LIMPEZA DE CIRCUITOS FRIGORÍGENOS.....	18
9. TESTE DE VAZAMENTO DO FLUIDO REFRIGERANTE	19
10. CUIDADOS DE SEGURANÇA E OPERAÇÃO.....	20
11. EVACUAÇÃO	21
12. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS PARA EXECUÇÃO DA EVACUAÇÃO	22
13. CARGA DE FLUIDO REFRIGERANTE	23
14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29



TREINATEC-BH
CURSOS

Fluidos Refrigerantes

Introdução

Um refrigerante é qualquer corpo ou substância que age como um agente refrigerante (agente térmico), pela absorção de calor de outro corpo ou substância. Considerando um ciclo de compressão mecânica de vapor, o refrigerante é o fluido de trabalho do ciclo, que, alternadamente, vaporiza e condensa quando absorve e cede calor, respectivamente. Para ser adequado para o uso como um refrigerante no ciclo de compressão por vapor, um fluido deve possuir certas propriedades químicas, físicas e termodinâmicas que o tornem tanto seguro, como econômico para o uso.

São considerados *refrigerantes primários*, aqueles usados em sistemas de compressão de vapor e *refrigerantes secundários* aqueles líquidos usados para transportar energia térmica à baixa temperatura de um local para outro. Os refrigerantes secundários são aqueles conhecidos como os anticongelantes e as salmouras.

Independentemente da classificação recebida, para ser utilizado como refrigerante, o fluido deve ser quimicamente inerte sob o ponto de vista de não ser inflamável; não ser explosivo e nem tóxico, tanto no estado puro, como quando misturado, em qualquer proporção com o ar; não deve reagir com o óleo lubrificante ou com algum material utilizado na construção do equipamento de refrigeração, nem com a umidade do ar. É desejável que o fluido seja de uma natureza tal, que não possa contaminar, sob hipótese alguma, gêneros alimentícios ou outros produtos armazenados, caso venha a acontecer algum vazamento no sistema.

Em épocas próximas de 1930, quando a utilização e as aplicações da refrigeração mecânica eram bastante limitadas, os únicos refrigerantes primários utilizados eram a amônia (NH_3) e o dióxido de carbono (CO_2). Com o desenvolvimento de pequenas unidades automáticas domésticas e comerciais, passaram a ser utilizados como refrigerantes o dióxido de enxofre, o cloreto de metila e o cloreto de metileno, este último desenvolvido para uso em compressores centrífugos. O

cloreto de metileno e o dióxido de carbono foram largamente usados em aplicações

de condicionamento de ar, devido suas propriedades seguras. Com o passar do tempo, esses refrigerantes caíram em desuso, com exceção da amônia. Após 1930, veio então a geração dos fluidos refrigerantes clorofluorcarbonados, também conhecidos por CFC's, os quais permaneceram em uso até a atualidade, juntamente com a amônia, sendo este último mantido, devido suas excelentes propriedades térmicas, com utilização em instalações industriais tais como fábricas de gelo e pistas de patinação.

Até 1986, os compostos químicos denominados hidrocarbonetos halogenados, ou simplesmente halocarbonos, eram praticamente os únicos usados nos sistema de refrigeração por compressão mecânica de vapor, por possuírem características de não-inflamabilidade e por serem atóxicos. Os fluidos refrigerantes halocarbonos podem ser classificados em:



a) Cloro-flúor-carbono (CFC)

São derivados de hidrocarbonetos obtidos pela substituição dos átomos de hidrogênio por átomos de cloro e de flúor, tais como o CFC-11, CFC-12, CFC-113, CFC-114 e CFC-115. O tempo de vida dos CFC's na atmosfera varia de 60 a 540 anos, causando a depleção do ozônio. A maioria dos CFC's tem índice de potencial de depleção da camada de ozônio (ODP = *Ozone Depletion Potential*) entre 0,6 e 1. Os CFC's deixaram de ser fabricados pelos países industrializados em janeiro de 1996, e com algumas exceções, pelos países em desenvolvimento.

b) Halogenos (BFC's)

São compostos por átomos de carbono, bromo e flúor, tais como BFC-13B1 e BFC-12B1.

Apresentam os mais altos índices de potencial de depleção da camada de ozônio, cerca de 10.

Tais como os CFC's, deixaram de ser fabricados em 1996.

c) Hidro-cloro-flúor-carbono (HCFC)

Compostos de átomos de carbono, hidrogênio, cloro e flúor, porém não são totalmente halogenados, como os CFC's. Seu tempo de vida na atmosfera varia de 2 a 22 anos e seu ODP varia entre 0,02 e 0,1. Como exemplo destes fluidos refrigerantes tem-se o HCFC-22, HCFC-123 e HCFC-124. O HCFC-22 tem sido o refrigerante mais usado em sistemas de condicionamento de ar desde o início dos anos 90. Os HCFC's têm sido usados como fluidos de transição e sua restrição de uso e fabricação iniciou em 2004.

d) Hidro-flúor-carbono (HFC)

São compostos por átomos de carbono, hidrogênio e flúor. Não causam a depleção da camada de ozônio porque não contêm átomos de cloro em sua composição. Dentre estes tipos de fluidos pode-se citar: HFC-134a, HFC-125 e HFC-143a. Existe uma tendência para que os fluidos HFC's venham a se tornar os mais usados em sistemas de condicionamento de ar, nas próximas décadas.

e) Misturas azeotrópicas

Nas misturas azeotrópicas, seus componentes não podem ser separados por destilação. A mistura evapora e condensa como se fosse uma única substância. Suas propriedades são totalmente diferentes das de seus componentes. Dentre esses tipos de fluidos pode-se citar o CFC/HFC-500, HCFC/CFC-501 e HCFC/CFC-502. A título de ilustração, tem-se que o HCFC/CFC-501 é a mistura de 75% de HCFC-22 com 25% de CFC-12, em base de massa.

Misturas azeotrópicas que causam depleção da camada de ozônio deixaram de ser fabricadas em 1996 nos países desenvolvidos.

f) Misturas zeotrópicas

Nas misturas zeotrópicas, seus componentes são separados por destilação. Logo, a mistura evapora e condensa em temperaturas diferentes. Atualmente, são os refrigerantes mais promissores na realização de *retrofit*. Como exemplos, têm-se: R-400, R-401a/b/c, R-407a/b/c.

Fluidos Refrigerantes Halogenados CFC's e HCFC's

Com relação aos fluidos refrigerantes halogenados, destacam-se os fluidos clorofluorcarbonos (CFC's) e os fluidos hidroclorofluorcarbonos (HCFC's), os quais ainda são usados mundialmente. Os CFC's, surgiram no final da década de 20, quando a General Motors e Ford, disputavam o mercado de automóveis. Ambas as fábricas decidiram que o diferencial em seus automóveis seria a existência de condicionador de ar no interior dos veículos. A General Motors saiu na frente, haja visto já possuir uma divisão que fabricava geladeiras. Após muitos estudos, seus engenheiros concluíram que não seria possível a implantação de tal projeto visto que os fluidos utilizados na época, que eram amônia e isobutano, tinham o risco de explosão, caso o veículo recebesse algum tipo de choque. Foi quando pesquisas realizadas pelos engenheiros da área de química, que haviam inventado o chumbotetraetila, desenvolveram um produto contendo flúor, carbono e em alguns casos hidrogênio, chamados de clorofluorcarbonos, e que se fixaram no mercado por serem estáveis, mais baratos, atóxicos e não inflamáveis. A partir de então, surgiram também os hidroclorofluorcarbonos (HCFC's) e mais recentemente os hidrofluorcarbonos (HFC's), que são compostos químicos derivados de hidrocarbonetos simples (metano, etano), onde os átomos de hidrogênio são parcial ou totalmente substituídos por átomos de elementos halogenados (cloro e flúor).

Impactos Ambientais

Toda a vida na Terra depende da existência de uma camada fina de um gás venenoso no alto da atmosfera: a camada de ozônio. O ozônio é uma molécula constituída por três átomos de oxigênio. Ele é um componente extremamente raro na atmosfera da Terra: em cada dez milhões de moléculas de ar, cerca de três são de ozônio. A maioria (90%) é encontrada na camada superior da atmosfera, chamada de estratosfera, entre 10 km e 50 km acima da superfície terrestre. Esta "camada de ozônio" absorve quase toda a radiação ultravioleta nociva (UV-B) que emana do sol. Desta maneira, a camada protege plantas e animais do raio UV-B, que em doses elevadas, pode ser particularmente danoso para a vida natural. A

absorção do UV-B pela camada de ozônio também cria uma fonte de calor, desempenhando um papel fundamental na estrutura de temperatura do planeta. Qualquer dano à camada de ozônio permite então que mais radiação UV-B atinja a superfície da Terra. Em 1974, os cientistas Mario Molina e Sherwood Rowland publicaram um artigo onde comentavam sobre a relação e os riscos dos CFC's à camada de ozônio. Ao longo dos anos 70 e 80, os cientistas começaram a suspeitar, e então, a detectar, um crescente afinamento da camada de ozônio. Isto foi acompanhado de aumentos nas taxas de UV-B que atingia a superfície. Em 1994, os níveis de UV-B estavam cerca de 8-10% mais elevados do que 15 anos antes em 45°N e S (a latitude de Ottawa e Veneza no hemisfério norte e de Dunedin no hemisfério sul), com maiores níveis em direção aos pólos, particularmente no hemisfério sul.

Qualquer aumento da quantidade de UV-B que atinge a superfície da Terra tem efeitos potencialmente nocivos à saúde humana, aos animais, plantas, microorganismos, materiais e à qualidade do ar. Nos seres humanos, a exposição ao UV-B a longo prazo, está associada ao risco de dano à visão com a incidência de cataratas; além de causar supressão do sistema imunológico, gerando um problema potencialmente grave em áreas onde doenças infecciosas são comuns. Em populações de pele clara, exposição elevada a UV-B é o fator de risco principal no desenvolvimento do câncer de pele. Experimentos sugerem que os casos aumentam em 2% para cada 1% de redução do ozônio estratosférico. Entretanto, a exposição moderada, que ajuda a formar vitamina D na pele, é benéfica. Animais estão sujeitos a efeitos semelhantes com o aumento do UV-B. A vida marinha é particularmente vulnerável ao UV-B, razão para certa preocupação, uma vez que, mais de 30% da proteína animal para consumo humano do mundo, vem do mar. O UV-B prejudica os estágios iniciais do desenvolvimento de peixes, camarão, caranguejo e outras formas de vida aquáticas e reduz a produtividade do fitoplâncton, base da cadeia alimentar aquática. O crescimento vegetal pode também ser diretamente reduzido pela radiação UV-B, prejudicando a produtividade e a qualidade das colheitas e danificando florestas.

Reduções na produtividade dos ecossistemas marinhos e terrestres poderiam por sua vez reduzir o consumo de CO₂, contribuindo assim para o aquecimento

global. Materiais sintéticos, tais como plástico e borracha, e materiais naturalmente ocorrentes tais como madeira, são afetados pelo UV-B: o dano causado varia desde a descoloração até a perda de resistência mecânica. Aumentos no UV-B podem limitar a durabilidade destes materiais e exigir processos de produção mais caros.

Em 1985, houve a publicação das descobertas dos membros da British Antarctic Survey, liderados pelo Dr. Joe Farman, cujo artigo afirmava pela primeira vez a existência do “buraco de ozônio”, revelando a existência de declínios dramáticos nas concentrações de ozônio sobre a Antártica na primavera. Este fato acelerou o processo para que em 16 de setembro de 1987, 46 países assinassem o Protocolo de Montreal sobre substâncias que destroem a camada de ozônio.

O Protocolo de Montreal é um acordo internacional que exigiu a redução progressiva, até a total eliminação da produção e uso de substâncias que afetam a camada de ozônio, entre elas os CFC's e os HCFC's, ficando excluídos os HFC's que, por não apresentarem átomos de cloro na molécula, não agridem a camada de ozônio. O Protocolo entrou em vigor em 01 de janeiro de 1989 e sofreu três conjuntos de ajustes para melhorar as medidas de controle e inclusão de novos produtos: em 1990 (Londres), 1992 (Copenhagen) e em 1995 (Viena). Em função disto, no final de 1995, dentre as substâncias destruidoras do ozônio (ODS), os CFC's 12 e 502 foram totalmente eliminados nos países desenvolvidos. Os países em desenvolvimento teriam prazo até 2005 para a sua eliminação. As categorias remanescentes estão com sua eliminação total prevista para 2.010 (brometo de metila) e 2.030 (HCFC's).

Para que fosse feita uma comparação da influência relativa sobre a camada de ozônio, dos vários fluidos refrigerantes, foi criado o índice ODP (*Ozone Depletion Potential*), o qual relaciona a taxa de depleção do ozônio, de 1 kg de qualquer refrigerante, com aquela obtida para o CFC-11.

Foi atribuído o valor 1 (um) ao ODP do CFC-11. Também foi criado o índice GWP (*Global Warming Potential*), usado para comparar os efeitos dos CFC's, HCFC's e HFC's sobre o aquecimento global com base nos efeitos do CFC-11. A Tabela em seguida mostra os valores de ODP e GWP de cada um dos fluidos refrigerantes.

Valores de ODP e GWP para refrigerantes halogenados

Refrigerante	ODP	GWP
CFC-11	1,0	1,00
CFC-12	1,0	3,10
CFC-13B1	10,0	–
CFC-113	0,8	4,95
CFC-114	1,0	10,60
CFC-115	0,6	–
CFC/HCFC-500	0,74	–
CFC/HCFC-502	0,33	3,7
HCFC-22	0,05	0,34
HCFC-123	0,02	0,02
HCFC-124	0,02	–
HCFC-142B	0,06	–
HFC-125	0	0,84
HFC-134a	0	0,26
HFC-152A	0	0,03
HFC-401A	0,03	0,32
HFC-402A	0,02	0,52
HFC-403A	–	–
HFC-404A	0	0,94
HFC-407C	0	0,38
HFC-409A	0,05	0,3
HFC-410A	0	0,45

Refrigerantes Alternativos

Tendo em vista as exigências do Protocolo de Montreal, as indústrias passaram a concentrar suas pesquisas no desenvolvimento de fluidos refrigerantes alternativos aos CFC's 11, 12 e 502. Na busca por substâncias puras para a substituição dos CFC's 11 e 12, foram desenvolvidos o HCFC-123 e o HFC-134a, respectivamente. No entanto, o HFC-134a não se mostrou adequado para a substituição do CFC-12 em equipamentos de concepção mais antiga, que já estavam em uso pelos consumidores finais. Pesquisas foram redirecionadas para a utilização de misturas de fluidos refrigerantes, visto que essa ideia não é nova,

pois o CFC/HCFC- 502 é uma mistura. Entretanto, a maioria das misturas apresenta uma desvantagem, que é a da temperatura durante o processo de mudança de fase (condensação e evaporação), não ser constante como a temperatura de uma substância pura. Além disso, existe uma variação da composição das fases líquida e gasosa da mistura durante o processo. As misturas com estas características são chamadas de misturas zeotrópicas, ou não azeotrópicas, conforme citado anteriormente. Existem misturas que possuem uma composição na qual a mistura se comporta como se fosse uma substância pura. Neste caso, são chamadas de misturas azeotrópicas e como exemplo tem-se o CFC/HCFC-502. A Tabela a seguir apresenta alguns fluidos refrigerantes alternativos, com suas respectivas aplicações e características:

REFRIGERANTE	APLICAÇÕES	CARACTERÍSTICAS
HCFC-123	Em centrífugas de baixa pressão, tanto em equipamentos novos como para retrofit do CFC-11.	Não deve ser usado em outra aplicação que não seja fluido refrigerante. Alta eficiência energética em equipamentos novos. Não inflamável
HCFC-124	Retrofit do CFC-114, para ambientes com alta	Capacidade de resfriamento 80% superior ao CFC-114. Necessário
	temperatura de condensação.	avaliar detalhadamente o sistema. Não inflamável.
HFC-134a	Em equipamento novos e para retrofit do CFC-12 em aplicações de média temperatura, tais como refrigeradores, freezers, centrifugas e ar condicionado automotivo.	Não inflamável. ODP = 0 (não danifica a camada de ozônio). Usado com óleo lubrificante sintético em ar condicionado automotivo. Pressão de sucção similar ao CFC-12. Menor temperatura de descarga.
HCFC-401a (mistura)	Retrofit do CFC-12 em refrigeração comercial e doméstica para temperaturas de evaporação acima de – 23 °C.	Pode trabalhar com óleo mineral. Redução do consumo de energia e aumento de 10% na capacidade de refrigeração. Redução da quantidade de fluido utilizada em relação ao CFC-12 (cerca de 85% da carga original).
HCFC-401b (mistura)	Retrofit do CFC-12 e CFC/HCFC-500 para baixa temperatura e alta capacidade, com temperatura de evaporação abaixo de – 23 °C.	Pode trabalhar com óleo mineral. Redução do consumo de energia e aumento de 15% na capacidade de refrigeração. Redução da quantidade de fluido utilizada em relação ao CFC-12 (cerca de 85% da carga original).

HCFC-402a (mistura)	Retrofit do CFC/HCFC-502 em refrigeração comercial de baixa e média temperatura.	Pode trabalhar com óleo mineral. Pressão de sucção e temperatura de descarga similares ao CFC/HCFC-502. Aumento de 10% em média na capacidade de refrigeração.
HCFC-402b (mistura)	Retrofit do CFC/HCFC-502 em máquinas de gelo e condicionadores de gabinete (self-contained).	Pode trabalhar com óleo mineral. Pressão de sucção similar a do CFC/HCFC-502, porém com temperatura de descarga superior. Aumento de 5% em média na capacidade de refrigeração.
HFC-404a (mistura)	Novos equipamentos e retrofit do CFC/HCFC-502 em refrigeração comercial.	Utiliza óleo lubrificante sintético. Menor temperatura de descarga em comparação ao CFC/HCFC-502. Pressão de sucção e capacidade de refrigeração similares ao CFC/HCFC-502.
HFC-407c (mistura)	Novos equipamentos e retrofit do HCFC-22 em ar condicionado e bombas de calor.	Utiliza óleo lubrificante sintético. Mesma capacidade de refrigeração do HCFC-22.
HFC-410a (mistura)	Somente em equipamentos novos.	Novos equipamentos desenvolvidos para este

		refrigerante possuem capacidade de refrigeração 60% superior aos que utilizam HCFC-22. Menor temperatura de descarga com relação ao HCFC-22.
HCFC-409a (mistura)	Retrofit do CFC-12 em refrigeração comercial e doméstica.	Pode trabalhar com óleo mineral. Redução do consumo de energia e aumento da capacidade de refrigeração. Redução na quantidade de fluido refrigerante utilizada em relação ao CFC-12 (cerca de 85% da carga original).
HCFC-408a (mistura)	Retrofit do CFC/HCFC-502 para refrigeração comercial.	Pode trabalhar com óleo mineral. Mesma capacidade de refrigeração do CFC/HCFC-502. Temperatura de descarga superior ao CFC/HCFC-502. Redução na quantidade de fluido refrigerante utilizada em relação ao CFC-12 (cerca de 85% da carga original).
HFC-507 (mistura azeotrópica)	Novos equipamentos e retrofit do CFC/HCFC-502 em refrigeração comercial.	Trabalha na mesma faixa de temperatura que o CFC/HCFC-502, com rendimento similar porém com maior capacidade de refrigeração.

HFC-508b (mistura azeotrópica)	Novos equipamentos e retrofit do CFC-13 para temperaturas extremamente baixas (-80°C no evaporador) de sistemas em cascata.	Menor temperatura na descarga do compressor. Capacidade de refrigeração 30% maior se comparada ao CFC-13.
R-717 (Amônia)	Refrigeração industrial e comercial.	Inflamável. Incompatibilidade com o cobre. Baixo limite de exposição (alto grau de toxicidade).
R-290 (Propano)	Refrigeração comercial para baixas temperaturas.	Inflamável.
R-600a (Isobutano)	Refrigeração comercial e doméstica.	Inflamável.

O HFC-134a foi selecionado como alternativo ao CFC-12 para equipamentos de projetos mais novos, já sendo encontrado no mercado nacional, refrigeradores e freezers utilizando-o. O mesmo possui como vantagens as propriedades termofísicas próximas as do CFC-12, sendo os desempenhos dos ciclos para ambos bem próximos e a não inflamabilidade. No entanto, houve necessidades de mudanças nas dimensões do compressor e dispositivo de expansão, não sendo adequado o retrofit em equipamentos já existentes. Neste caso, aconselha-se a utilização de misturas não azeotrópicas, como por exemplo: o HCFC-401a (53% em massa de HCFC-22, 13% de HFC-152a e 34% de HCFC-124), o HCFC-409a (60% de HCFC-22, 25% de HCFC-124 e 15% de HCFC-142b) ou uma mistura contendo 50% em massa do hidrocarboneto HC-290 (propano) e 50% do HC-600a (isobutano).

Para o HCFC-502, os refrigerantes alternativos são as misturas HFC-507 e o HFC-404^a (44% de HFC-125, 52 % de HFC-143 e 4% de HFC-134a) para novos equipamentos e retrofit.

Para aplicações onde a baixa temperatura e descarga ou a eficiência energética forem críticas, o fabricante recomenda respectivamente o uso do HCFC-402a e do HCFC-402b.

Existem três alternativas possíveis para o HCFC-22: o HFC-134a, que é uma substância pura, usada no caso de novos equipamentos onde possam ser utilizadas baixas pressões de condensação e evaporação, que é uma característica de países com clima quente como o Brasil; o HFC-410a, que é uma

mistura quase azeotrópica, por possuir uma variação de temperatura muito pequena, composta de 50% de HFC-32 e 50% de HFC-125, utilizada em novos equipamentos, haja vista apresentar pressões de condensação e evaporação cerca de 60% maior que as pressões do HCFC-22 para as mesmas temperaturas; e o HFC-407c, que é uma mistura não azeotrópica, formada de 23% de HFC-32, 25% de HFC-125 e 52% de HFC-134a, indicada para equipamentos novos e para retrofit, por apresentar pressões de trabalho próximas às do HCFC-22.

Seleção dos Fluidos Refrigerantes

Na seleção dos fluidos refrigerantes, a influência na preservação da camada de ozônio e a interferência na redução do aquecimento global, são questões prioritárias que devem ser levadas em consideração. Entretanto, existem outros fatores relevantes que devem ser observados, tais como: segurança, deslocamento volumétrico do compressor por unidade de capacidade de refrigeração, coeficiente de desempenho do ciclo de refrigeração, propriedades físicas e características operacionais, que são apresentados a seguir:

a) Segurança

As fugas ou vazamentos de fluidos refrigerantes podem ocorrer em juntas de tubulações, selos de vedação ou outras partes do sistema, durante a sua instalação ou operação, ou ainda por acidente. Deste modo, devem apresentar níveis de segurança aceitáveis para os seres humanos e processos de fabricação, com pouca ou nenhuma toxicidade e inflamabilidade.

De acordo com a norma ANSI/ASHRAE 34-1992, a toxicidade dos fluidos refrigerantes é classificada em Classes A ou B. Na Classe A estão os de menor toxicidade e menos perigosos, ou seja, não apresentam toxicidade quando sua concentração é menor ou igual a 400 ppm (partes por milhão), em massa. Os fluidos refrigerantes Classe B são os mais perigosos e apresentam evidências de toxicidade em concentração igual ou menor a 400 ppm. Como exemplos de fluidos refrigerantes pertencentes à Classe A, tem-se: HCFC-22, HFC-134a, CFC-11, CFC-12 e R-718 (água), e pertencentes à Classe B, podem ser citados HCFC-123 e R-717 (amônia). O R-717 (amônia) misturado com o ar em concentrações entre 16 e 25% em volume, é altamente explosivo, apesar de se enquadrar no grupo de baixa inflamabilidade.

b) Deslocamento volumétrico do compressor por kW de capacidade de refrigeração

O deslocamento do compressor, para produzir um kW de capacidade de refrigeração, expressa a relação entre a vazão volumétrica ideal de refrigerante e a capacidade de refrigeração que o compressor pode desenvolver. No caso dos compressores de deslocamento positivo, o deslocamento do compressor determina o seu tamanho e isto é usado como um critério para seleção do refrigerante.

O deslocamento do compressor depende principalmente da entalpia de vaporização do refrigerante e de seu volume específico na pressão de sucção: o primeiro deve ser grande e o segundo pequeno, para que o compressor seja o menor possível.

Os sistemas de refrigeração que antes usavam o CFC-12, agora usam o HFC-134a. As implicações dessa substituição podem então ser observadas. O efeito refrigerante do HFC-134a é 29,3 % maior, porém seu volume específico na sucção também é 33,9 % maior, resultando num deslocamento do compressor 3,6 % maior. Como os outros parâmetros mostrados são praticamente da mesma ordem de grandeza essa substituição ocorrerá sem nenhum problema de ordem termodinâmica.

c) Coeficiente de performance ou desempenho (COP)

O COP relaciona o efeito refrigerante e o trabalho de compressão isentrópico do ciclo para valores determinados de temperaturas de evaporação e de condensação. Geralmente, nos compressores de deslocamento positivo abertos, o denominador do COP é a potência de eixo; já nos herméticos e semi-herméticos é a potência elétrica consumida. Obviamente, o COP baseado na potência de eixo ou na potência elétrica é menor do que o COP baseado na potência de compressão isoentrópica. O objetivo é de que o sistema possua valores de COP maiores, pois se gasta menos para produzir a mesma quantidade de refrigeração.

d) Propriedades termofísicas

As propriedades físicas mais importantes são as pressões de evaporação e de

condensação, a temperatura de descarga, as propriedades dielétricas e a condutibilidade térmica.

Algumas propriedades termofísicas são de importância fundamental para o desempenho e segurança operacional dos sistemas de refrigeração:

- **Pressão de evaporação e de condensação** – É melhor usar um refrigerante no qual a pressão de evaporação seja maior do que a pressão atmosférica, para impedir que o vapor d'água e outros gases não condensáveis presentes no ar penetrem no sistema, causando problemas de solidificação e formação de ácidos, devido à presença de umidade e aumentando a pressão de condensação devido aos gases não condensáveis.

A pressão de condensação deve ser a mais baixa possível, visto que pressões elevadas implicam em construções mais robustas (pesadas) do compressor, tubulações de descarga e de líquido, condensador e outros componentes. Além disso, podem exigir um compressor centrífugo de alta rotação para obtê-las.

- **Temperatura de descarga** – É preferível um refrigerante que apresente temperaturas na descarga do compressor abaixo de 100°C. Temperaturas acima de 150°C podem carbonizar o óleo lubrificante e danificar suas válvulas de descarga. A amônia apresenta a mais alta temperatura de descarga entre os refrigerantes mais usados.

- **Propriedades dielétricas** – São importantes naqueles refrigerantes que entram em contato direto com os motores elétricos, tais como acontece nos compressores herméticos e semi-herméticos. A constante dielétrica da maioria dos CFC's é da mesma ordem de grandeza que o ar. Valores dessas propriedades podem ser encontrados em ASHRAE, 1997, para as fases de líquido e vapor.

- **Condutibilidade térmica** – A condutibilidade térmica do refrigerante está intimamente relacionada com a eficiência de transferência de calor no evaporador e no condensador do ciclo de refrigeração. A condutibilidade do vapor é sempre menor que a do líquido. Condutibilidade térmica elevada significa também maior transferência de calor nos trocadores de calor.

e) **Características operacionais**

As principais características operacionais são: a inércia química (efeitos sobre os materiais de construção), a miscibilidade com o óleo lubrificante e a detecção de fugas.

- **Inércia química** – Um refrigerante inerte não reage com outros materiais (metais, elastômeros e plásticos), o que evita corrosão, erosão ou danos aos componentes do circuito de refrigeração.

Em condições normais de uso, os halogenados são compatíveis com todos os metais exceto com magnésio, zinco e ligas de alumínio contendo 2% de magnésio, especialmente na presença de água. A amônia, na presença de água, corrói o cobre e suas ligas. Quando há contaminação por água em sistemas usando dióxido de enxofre, forma-se um ácido que ataca rapidamente o aço e mais lentamente outros metais.

- **Miscibilidade com o óleo lubrificante** – Quando pequenas quantidades de óleo misturam-se ao refrigerante, essa mistura ajuda a lubrificar os pistões, as válvulas de descarga e outras partes móveis do compressor. Esse óleo deve retornar ao compressor, vindo do condensador, do evaporador e das tubulações de refrigerante, proporcionando sua lubrificação contínua. Por outro lado, o refrigerante pode diluir o óleo reduzindo seu efeito lubrificante, e quando esse óleo adere aos tubos no condensador e no evaporador forma películas que reduzem as taxas de transferência de calor.

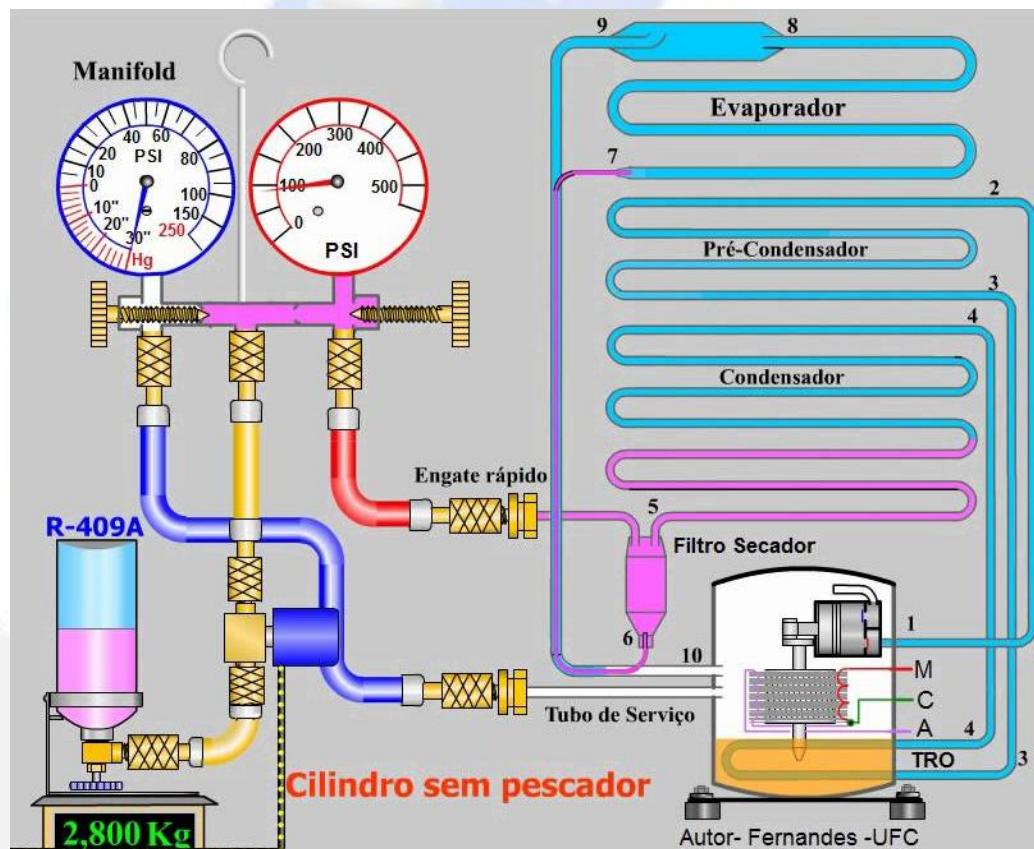
O HCFC-22 é parcialmente miscível, o HFC-134a é fortemente miscível e o R-717 (amônia) é imiscível com o lubrificante. As medidas para garantir o retorno de óleo ao compressor devem ser tomadas durante o projeto do sistema de refrigeração, pois uma lubrificação inadequada pode causar desgaste prematuro e quebras de suas partes móveis. Quando da substituição de CFC-12 pelo HFC-134a, deve-se usar um lubrificante sintético compatível.

- **Detecção de fugas** – As fugas de refrigerante devem ser facilmente detectadas, caso contrário, ocorrerá uma redução gradual da capacidade de refrigeração atingindo uma eventual parada do sistema, assim como contribuem para a depleção da camada de ozônio.

A maioria dos CFC's, HCFC's e HFC's são incolores e inodoros. Desse modo, as fugas podem ser detectadas de três formas:

- 1) *Lamparina Halide*: Este método é simples e rápido. Quando o ar escoa sobre um elemento de cobre aquecido por uma chama de álcool metílico (de cor azulada), os vapores de CFC se decompõem e mudam a coloração da chama para verde (em pequenas fugas) ou para azul-avermelhada (em grandes fugas);
- 2) *Detector eletrônico*: Este tipo de equipamento mostra a variação de uma corrente elétrica devido à ionização do refrigerante decomposto entre dois eletrodos com cargas opostas. É muito sensível, mas não pode ser usado onde o ar ambiente contém vapores inflamáveis ou explosivos.
- 3) *Detecção por bolhas*: Uma solução de sabão ou detergente é passada sobre os pontos suspeitos, e caso haja vazamento observa-se a formação de bolhas. Os vazamentos de amônia são rapidamente identificados por seu odor característico mesmo em pequenas fugas. Pode-se usar também um papel indicador que muda de cor na presença de gases de amônia.

REOPERAÇÃO DA UNIDADE SELADA (RUS)



Limpeza de circuitos frigoríficos

A limpeza de um circuito de refrigeração é um processo de importância fundamental em refrigeração e condicionamento de ar, que consiste em manter os circuitos livres de contaminação.

Os circuitos frigoríficos atuais usam motocompressores que trabalham com altas rotações, elevadas temperaturas e pequenas tolerâncias. Assim, deve-se evitar a contaminação dos sistemas a todo custo. Os principais causadores de problemas são infiltração de ar, presença de anticongelantes (como o álcool metílico), uso inadequado de fluxo de solda, presença de solventes clorados e de fragmentos metálicos e impurezas.

A combinação dos elementos relacionados com óleo, fluidos refrigerantes e altas temperaturas provocam os problemas mencionados a seguir:

- a) Sedimentação carbonosa do óleo:** consiste na decomposição do óleo, cujo resultado é uma massa escura e viscosa (lama) que tende a inutilizar telas, filtros e sistemas de lubrificação;
- b) Corrosão:** as altas temperaturas, ar, água e impurezas, como ácidos, pasta de solda e álcool metílico são fatores que aceleram o processo de corrosão dos circuitos de refrigeração, podendo ser atenuado com a limpeza e desobstrução de condensadores, a regulagem adequada da válvula de expansão para limitar o superaquecimento, além de se prever baixas taxas de compressão;
- c) Plaqueamento de cobre:** consiste em duas reações separadas: na primeira, o óleo de má qualidade ou contaminado dissolve o cobre existente, em solução com óleo sobre mancais, selos de eixo, placas de válvulas e outros pontos, onde as temperaturas são elevadas. Na segunda, em virtude também das altas temperaturas, em junção com a existência de água, ar, álcool, etc. Para se evitar isso, é fundamental circular nitrogênio seco nas tubulações durante as soldagens, usar óleo adequado, evitar altas temperaturas na operação, além de se evitar

contaminar o circuito com pasta de solda, solventes clorados e outros elementos que possam formar sais de cobre;

d) Queima de motores: normalmente classificados como moderado e grave, onde o primeiro se refere ao fato de que os depósitos de fuligem da isolação carbonizada não ultrapassam o motocompressor, e onde o segundo se refere na apresentação de espessa camada de fuligem, o que significa que o motocompressor realizou várias rotações durante a queima. O estator apresenta-se totalmente carbonizado, e o óleo escuro e com odor altamente ácido.

Limpeza de circuitos após queima com circulação de fluido refrigerante HCFC-141b

De um modo geral, pressupõe-se que todo circuito em que tenha havido queima do motor do compressor deverá ser limpo antes da instalação do novo motocompressor. O fluido refrigerante R-141b apresenta alto ponto de ebulição, o que significa que haverá pequena perda de fluido durante a limpeza, à temperatura ambiente.

O processo consiste em circular o R-141b através do evaporador e condensador com auxílio de uma bomba, um filtro e um tanque de armazenamento. Após sucessivas trocas do filtro, o evaporador e o condensador estarão limpos, quando àquele não apresentar mais impurezas. O fluido refrigerante deve ser removido do evaporador e do condensador com nitrogênio seco e o circuito frigorígeno, evacuado e carregado. O filtro secador da linha de líquido deve ser substituído antes da evacuação. O fluido refrigerante R-141b é o substituto do R-11 para limpeza de circuitos, portanto com a eliminação dos CFC's, não se utiliza mais o R-11.

Teste de vazamento do fluido refrigerante

O teste de vazamento é efetuado em equipamentos de refrigeração e condicionamento de ar com o objetivo de se obter um sistema totalmente estanque. Em sistemas que trabalham com pressões positivas, os testes têm como finalidade evitar prejuízos decorrentes de perda de fluido refrigerante e mau funcionamento, ou falhas devidas à diminuição do fluxo de refrigerante. Em sistemas que trabalham com pressões negativas (vácuo), os testes de

vazamentos evitam prejuízos, mau funcionamento ou falhas devidas à infiltração de ar (umidade) no equipamento.

Com o sistema pressurizado (pressão positiva recomendada pelo fabricante), pode-se constatar o vazamento de fluido refrigerante por meio dos procedimentos a seguir:

a) Espuma de Sabão: Faz-se uma espuma de sabão bastante densa, envolvendo soldas, conexões, visores, válvulas e outros pontos suspeitos de vazamentos. Verifica-se o vazamento mediante a formação de bolhas;

b) Detector Eletrônico: Existem vários tipos, porém todos funcionam de modo similar. Os detectores dispõem de um sensor que, ao entrar em contato com o fluido refrigerante, criam uma corrente que aciona um miliamperímetro, ou uma lâmpada de sinalização, ou ainda, um alarme sonoro. Nos testes em sistemas pressurizados somente com nitrogênio seco, só se pode utilizar o método de espuma de sabão. Nos testes em sistemas pressurizados com nitrogênio seco e fluido refrigerante, podem-se usar os dois métodos.

c) Sob Vácuo (Teste de Estanqueidade): Consiste em evacuar o sistema até a pressão absoluta próxima de 1.000 mícrons de mercúrio. Após a obtenção do vácuo, a bomba de vácuo é desconectada e o circuito deve ser mantido sob vácuo por, pelo menos, 05 (cinco) horas. Depois se realiza nova medida do vácuo e verifica-se sua variação. Este teste indica a existência de vazamentos, porém não o local do vazamento. Caso seja confirmada a existência de vazamentos por este processo, o circuito frigorífico deve ser pressurizado e os vazamentos devem ser localizados pelos métodos descritos anteriormente.

Cuidados de segurança e operação

a) No teste com espuma de sabão: Não se realiza dentro de quadros elétricos; não se efetua sobre terminais de motores; deve ser usado para confirmar vazamentos encontrados por outros métodos;

b) No teste com detector eletrônico: Não se expõe o sensor diretamente a jatos de fluidos refrigerantes, pois isto diminui a vida útil do detector ou danifica o

sensor; não se assopra o sensor; não deve ser permitida a entrada de impurezas no tubo do sensor; não o utilizar em atmosferas explosivas;

c) **No teste com nitrogênio seco e fluido refrigerante:** Usar sempre regulador de nitrogênio para pressurizar o sistema; não exceder a pressão de teste indicada pelo fabricante; usar conexões e mangueiras adequadas a altas pressões; nunca usar oxigênio ou acetileno para pressurizar o sistema, pois poderá ocorrer violenta explosão;

d) **Sob vácuo (teste de estanqueidade):** Usar, preferencialmente, vacuômetro eletrônico e sempre este método após o processo de evacuação.

Evacuação



É um dos processos mais importantes em termos de manutenção na refrigeração. Sua função é remover o ar e a água antes de se efetuar a carga de fluido refrigerante. Um circuito que não tenha sido corretamente evacuado apresentará problemas de altas pressões, em virtude dos gases não condensáveis e problemas de ataques químicos a partes metálicas do circuito, ao verniz dos motores e decomposição do óleo decorrente da reação química entre a água e o refrigerante. Quanto mais profundo o vácuo obtido, melhor para o circuito frigorígeno.

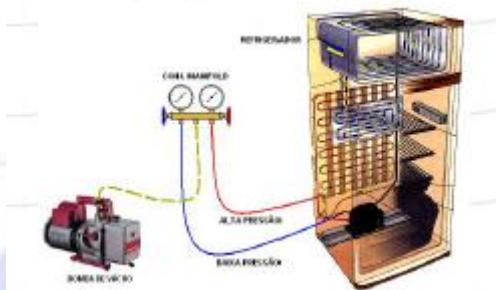
Normalmente os fabricantes dos equipamentos de refrigeração e condicionamento de ar recomendam vácuo inferior a 500 mícrons de mercúrio (medido com vacuômetro eletrônico) para processo de simples evacuação.

O manômetro de baixa pressão possui escala até 30 (trinta) polegadas de mercúrio, não devendo ser usado para medição de vácuo no processo de simples

evacuação. Isto porque é impossível observar no manômetro valores precisos da ordem de 29,9 polegadas de mercúrio, que corresponde a 500 mícrons de mercúrio.

Não é raro ouvir que um sistema foi evacuado por tantas horas ou até mesmo dias. Associar tempo de evacuação ao valor do vácuo não tem sentido algum. O tempo de evacuação de um circuito frigorífico dependerá dos seguintes fatores: tamanho do equipamento, capacidade da bomba de vácuo, possibilidade de vazamentos nas conexões da bomba de vácuo ou ainda as dimensões das linhas que ligam a bomba de vácuo ao circuito.

Procedimentos técnicos para executar a evacuação



Conexão da bomba de vácuo ao sistema frigorífico

- Depois de componentes substituídos ou dos problemas sanados, troca-se o filtro secador da linha de líquido e instala-se o conjunto manifold;
- Instala-se a mangueira de baixa do manifold na válvula de serviço da sucção do motocompressor;
- Instala-se a mangueira de alta do manifold na válvula de serviço da descarga do motocompressor ou na válvula de serviço da linha de líquido;
- Instala-se a mangueira de serviço (a do meio) do manifold na sucção da bomba de vácuo;
- Coloca-se o sensor do vacuômetro eletrônico em qualquer ponto do circuito;
- Liga-se a bomba de vácuo e abre-se os registros de baixa e de alta do manifold;
- Lê-se o valor do vácuo no vacuômetro e, caso esteja igual a ou menor que 500 mícrons de mercúrio, fecha-se os registros de baixa e de alta do manifold antes de desligar a bomba de vácuo;
- Desliga-se a bomba de vácuo, se certificando de que os registros de baixa e de alta do manifold estão fechados;

- Retira-se a mangueira de serviço (a do meio) do manifold da bomba de vácuo e instala-a no registro da garrafa de fluido refrigerante. Nesse ponto, a evacuação estará completa.

Carga de fluido refrigerante



Na refrigeração doméstica, em função da maioria dos sistemas trabalhar com baixa quantidade de fluido refrigerante (inferior a 350g) e utilizar tubo capilar como elemento de controle de luxo, o desempenho do sistema dependerá sensivelmente da carga de fluido refrigerante aplicada. Agora, com os fluidos refrigerantes alternativos, torna-se mais importante um procedimento adequado e a utilização de equipamentos precisos para esta operação.

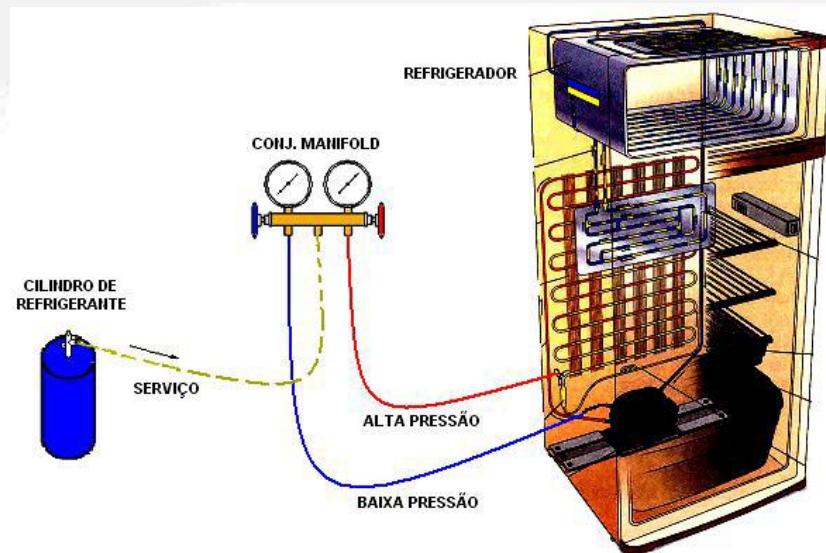
A carga correta de fluido refrigerante é fator determinante na manutenção de um sistema, pois uma carga incorreta pode causar diversos danos ao mesmo. Uma carga de refrigerante insuficiente causa perda de rendimento do sistema e consequentemente desperdício de energia elétrica. Já o excesso de fluido refrigerante pode causar diversos problemas como: Pressão de descarga elevada, superaquecimento do compressor, aumento da pressão de evaporação e retorno de líquido ao compressor.

Como primeiro passo para realizar a carga de fluido refrigerante em um determinado sistema deve-se verificar, via placa de identificação, o tipo de fluido refrigerante adotado pelo fabricante. Caso o sistema não contenha estas informações, consulte diretamente o fabricante do equipamento.

Dependendo do fluido refrigerante esta carga pode ser realizada no estado gasoso ou no estado líquido.

Para realizar a carga no estado gasoso adotamos como referências às pressões de evaporação e condensação do sistema. Segue-se então o procedimento:

- Conecte o cilindro de fluido refrigerante a mangueira de serviço do manifold;
- Com as válvulas do manifold fechadas, abra a válvula do cilindro de refrigerante;



- Com o sistema desligado, abra a válvula de baixa do manifold, azul. Neste momento o fluido refrigerante sai do cilindro em direção ao sistema. Inicialmente deixe a pressão em torno de 30 PSIG, este procedimento é conhecido como “quebrar o vácuo”;
- Ligue o equipamento. A pressão de sucção começa a baixar e a de alta começa a subir, abra a válvula de baixa, introduzindo gás, até que a pressão de sucção estabilize na pressão de evaporação desejada para o equipamento;
- Verifique, com auxílio de um multímetro alicate, a corrente de funcionamento do motor compressor. Esta medição deve ser realizada em um ponto do circuito onde circula somente a corrente total do compressor, verifica-se que esta corrente pode ser medida geralmente no condutor ligado ao protetor térmico;
- Compare a corrente medida com a corrente indicada na etiqueta, placa, de identificação do equipamento. A corrente indicada na etiqueta é obtida em

condições de teste de laboratório a uma temperatura padrão, em geral 30° ou 35°C dependendo do fabricante, estando o seu equipamento submetido a uma temperatura diferente desta a corrente medida irá apresentar uma pequena diferença em relação à indicada na etiqueta;

- Depois de realizados estes passos, verifica-se o rendimento do equipamento, observando a formação de gelo no evaporador, e a obtenção da temperatura interna para qual o equipamento foi dimensionado. Sob estas condições o filtro secador deverá apresentar-se “morno” e na linha de succão deve-se observar a sudação, formação de condensado proveniente da umidade do ar.



Para carregar o sistema com o Fluido no estado líquido deve-se:

- Identificar na etiqueta de identificação do equipamento a massa de fluido refrigerante necessária ao seu perfeito funcionamento;
- “Pesar” o cilindro de fluido refrigerante anotando o “peso” inicial.
- Conecte o cilindro de fluido refrigerante de cabeça para baixo à mangueira de serviço do manifold;
- Com o sistema desligado, abra a válvula do cilindro e o registro de alta do conjunto manifold (vermelho). Como o sistema encontra-se em vácuo o fluido no estado líquido adentrará o sistema, fazendo com que a massa, “peso”, indicada pela balança diminua;

- Quando a diferença entre “peso” inicial e o valor indicado na balança corresponder ao valor de massa indicado na etiqueta de identificação do equipamento, feche o registro do manifold. Algumas balanças permitem a carga automática de fluido, bastando apenas digitar o valor de massa a ser introduzida no sistema fechando automaticamente quando o valor da carga é atingido;



Balança automática para carga de fluido refrigerante.

- Aguarde para que o fluido refrigerante dentro do sistema equalize as pressões do lado de alta com o de baixa;
- Ligue o equipamento, aguarde seu rendimento e realize a medição das pressões e temperaturas de trabalho, evaporação, condensação e ambientes;
- Meça a intensidade de corrente no compressor.

Lacre da unidade selada.

Lacrar a unidade significa fechar o sistema após qualquer serviço em que se tenha realizado qualquer operação com fluidos. Trata-se de uma atividade simples mais que requer uma certa habilidade do mecânico, pois um lacre mal feito pode significar a perda da carga de fluido refrigerante.

Para realizar o lacre da unidade basta seguir alguns procedimentos:

Tubo de serviço do lado de alta pressão:

- Com auxílio de um alicate ladrador amasse o tubo de serviço de alta sem travar o alicate o mais próximo possível da conexão com a mangueira deixando espaço suficiente para realizar o corte.

- Ainda com o alicate lacreiro, amasse o tubo cerca de 1cm de distância do primeiro ponto amassado até travar o alicate, certificando-se de que o fluido não passará por essa região. Esta operação poderá ser realizada com o sistema ainda em funcionamento e o alicate deverá permanecer lacrando a tubulação;



Tubo amassado com alicate lacreiro – Operação de lacre da unidade selada.

- Desligue o sistema e aguarde que ocorra a equalização das pressões, com isso a pressão do lado de baixa irá aumentar e a pressão do lado de alta irá diminuir.
- Com a mangueira de serviço do manifold fechada, abra o registro de alta pressão;
- Abra o registro de baixa pressão.
- Ligue o sistema. O fluido refrigerante contido no lado de alta do manifold seguiria para o lado de baixa succionado pelo compressor;
- Quando o manômetro de alta indicar a pressão de baixa do circuito, feche o registro de alta do manifold e desligue novamente o sistema;
- Desconecte a mangueira de alta do sistema e corte a tubulação;

- Solde a extremidade da tubulação com cuidado para não queimar o alicate;
- Retire o alicate ladrador.

Tubo de serviço do lado de baixa pressão:

- Ligue o sistema;
- Com auxílio de um alicate ladrador amasse o tubo de serviço de baixa sem travar o alicate o mais próximo possível da conexão com a mangueira deixando espaço suficiente para realizar o corte.
- Ainda com o alicate ladrador, amasse o tubo cerca de 1cm de distância do primeiro ponto amassado até travar o alicate, certificando-se de que o fluido não passará por essa região.
- Desconecte a mangueira de baixa do sistema e corte a tubulação;
- Solde a extremidade da tubulação com cuidado para não queimar o alicate;

Solda do passador de serviço – Operação de lacre da unidade selada.

- Retire o alicate ladrador;
- Reforce com um pouco de solda a região amassada pelo alicate ladrador, com cuidado para não fundir a solda da extremidade do tubo.

Referências Bibliográficas

BSC INTERSERVICE, **Apostila de Refrigeração.** Serviços de Qualidade para Produtos de Qualidade.

Tecnofrio System, **Engenharia e Refrigeração.**

Apostila Senai “Oscar Rodrigues Alves” – **Refrigeração Residencial**

SILVA, J. G., **Introdução à Tecnologia da Refrigeração e da Climatização**, São Paulo: Artliber, 2004.

SILVA, J. C.; SILVA, A. C. G. c., **Refrigeração e Climatização para Técnicos e Engenheiros**, Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2007.

STOECKER, W. F.; JONES, J. P., **Refrigeração e Ar Condicionado**, São Paulo: McGraw-Hill, 1985.